



Norwegian University of
Science and Technology



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
Escuela Politécnica Superior

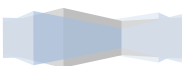
RESUMEN PROYECTO FINAL DE CARRERA
**SELECCION DE PROTECCIONES DE
SOBRECORRIENTE EN UNA PLANTA
ELÉCTRICA CON GENERADOR DE
EMERGENCIA.**

Ismael Santiago Bermejo López (100072796)

Ingeniería Industrial Superior (Electricidad)

TUTOR NTNU: Trond Toftevaag

COTUTOR UC3M: Santiago Arnaltes



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	pág. 4
2. CASO DE ESTUDIO	pág. 4
3. GENERADOR AUXILIAR.....	pág. 6
4. CORTOCIRCUITOS	pág. 7
5. SIMULACIÓN Y RESULTADOS	pág.8
6. REFERENCIAS	pág. 10



1. INTRODUCCION

El objetivo del proyecto es el cálculo mediante simulación de las sobrecorrientes producidas por posibles cortocircuitos en nuestro sistema, se estudiarán diversos casos propuestos por el tutor con el objetivo final de elegir las protecciones de sobrecorriente adecuadas para la planta de estudio.

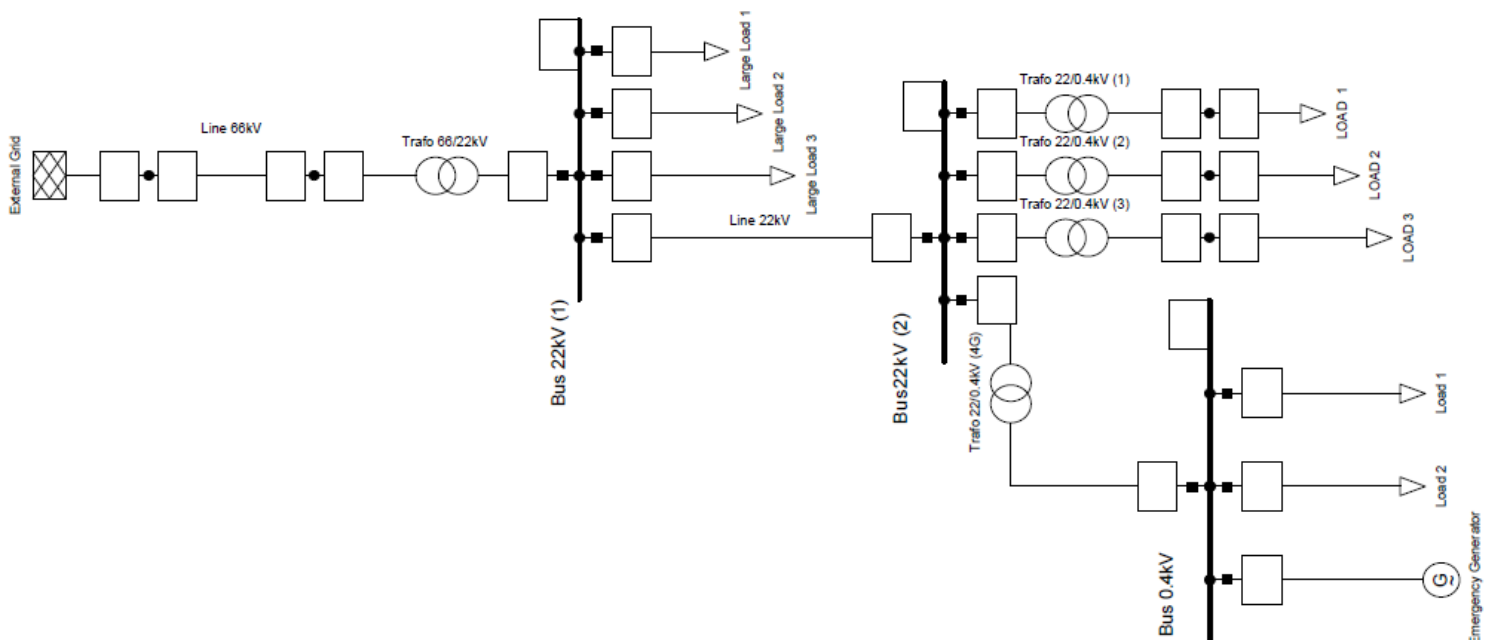
La planta a analizar cuenta con un generador auxiliar de emergencia cuya elección también será responsabilidad nuestra, con la ayuda del software Power Factory de DlgSILENT y los conocimientos necesarios se intentará buscar una solución válida ajustándonos a los datos, especificaciones existentes y equipos comercialmente disponibles en la actualidad.

2. CASO DE ESTUDIO

Analizaremos una planta industrial con distintas cargas y un generador de emergencia auxiliar, esta planta a su vez es alimentada por una red externa ,que se comportará como un bus infinito, conectada a través de una subestación, líneas de transmisión y sus correspondientes transformadores adicionales.

Encontramos tres zonas con distinto voltaje en el sistema eléctrico a estudiar, una primera zona de medio voltaje (66kV) dedicada únicamente a la transmisión de potencia con bajas pérdidas, con la subestación de transformación bajaremos el voltaje a 22kV y alimentaremos cargas diversas tanto fuera como dentro de nuestra planta de estudio.

A continuación se incluye el diagrama unifilar del sistema eléctrico a estudiar (topología radial):



Los parámetros de los transformadores y líneas han sido elegidos en función de los parámetros fijados de tensión y tamaño del equipo fijados por el tutor, y realizando un estudio del mercado actual buscando disponibilidad en catálogos dotando de realidad al caso de estudio.

- Red externa: Actuará como nuestro nudo oscilante con tensión nominal $U_N = 66kV$, una potencia de cortocircuito de $S_k = 100MVA$ y frecuencia del sistema $f_{SYST} = 50Hz$.
- Línea 66kV: Con 10km de longitud modelo $N2XS(FL)2Y \times 1000RM/50 \ 64/110kV$.
- Línea 22kV: Cable de 1km de longitud modelo $NAEKEBA \ 3 \times 35RM \ 18/30kV$.
- Transformador 66/22 kV: Con una potencia nominal de $S_N = 10MVA$ y los siguientes parámetros:

$$e_k = 7,5\% \quad e_r = 0,5\% \quad P_k = 42,57kW \quad P_0 = 10,75kW$$

- Transformador 22/0,4 kV: Con una potencia nominal de $S_N = 1MVA$, 4 tomas distintas en el lado de baja tensión con variación del $\pm 2'5\%$ y los siguientes parámetros:

$$e_k = 5,3\% \quad e_r = 1\% \quad P_k = 8,9kW \quad P_0 = 1,32kW$$

- Cargas: Encontramos 3 tipos distintos de cargas, en todas ellas se incluye el siguiente modelo de dependencia con el voltaje: $P = P_0 \cdot \left(\frac{U}{U_0}\right)^2$, $Q = Q_0 \cdot \left(\frac{U}{U_0}\right)^2$

1. Large loads: Externas e independientes de nuestra planta a estudiar:

$$P = 1,5MW \quad Q = 0,5Mvar$$

2. LOADS: Cargas prescindibles para nuestra planta:

$$P = 0,6MW \quad Q = 0,2Mvar$$

3. Loads: Cargas imprescindibles en nuestra planta

$$P = 0,3MW \quad Q = 0,1Mvar$$

Para el estudio de los posibles cortocircuitos se propusieron 3 distintas situaciones reales:

- A. Generador auxiliar alimentado la planta sólo.**
- B. Generador auxiliar y red externa alimentando la carga a la vez.**
- C. Generador auxiliar desconectado, se alimenta la carga únicamente a través de la red externa.**

El flujo de potencia en cada situación aparece en los anexos al proyecto, es importante observar la corriente nominal en cada caso y en los puntos de estudio para el posterior dimensionamiento de nuestras protecciones.



3. GENERADOR AUXILIAR DE EMERGENCIA

A lo largo del proyecto se puso especial interés en la selección del tipo de generador auxiliar, por no trabajar con energía eólica en ningún momento se decidió por un generador síncrono, permiten controlar la potencia reactiva y son más fiables y eficientes que los generadores de corriente continua. Además, al ser utilizado para situación de emergencia de forma auxiliar lo más adecuado será un modelo con rotor cilíndrico o polos lisos de 4 polos con una velocidad de 1500 rpm y refrigeración por aire que se mueve por convección natural incluyendo aletas de refrigeración a lo largo de su superficie externa. Se incluyen devanados amortiguadores con el fin de suavizar los transitorios provocados por cambios bruscos de estado en el motor.

Respecto a la excitación de nuestro generador con DC en el devanado inductor situado en el rotor de la máquina se propone un sistema de excitación sin escobillas, para ello empleamos un motor síncrono pequeño de imanes permanentes con devanado inductor en el estator e inducido en el rotor (al revés que nuestro generador auxiliar), con la ayuda de la electrónica de potencia por medio de rectificadores rectificamos la corriente AC producida convirtiéndola en DC para excitar nuestro generador principal, todos los componentes descritos, generador auxiliar, rectificadores y generador pequeño de excitación se colocarán en el mismo eje acoplados. Con esta disposición evitamos el uso de escobillas con el desgaste y mantenimiento excesivo que ello produce. La regulación de tensión AVR se realizará de forma electrónica actuando en los rectificadores gracias a los tiristores y el control que permitirán controlar la tensión y por tanto la Q generada o consumida en función del caso de estudio.

Según los casos de estudio nuestro generador auxiliar puede actuar de dos formas totalmente distintas:

- El generador actuando sólo (caso A): entrega la potencia activa y reactiva que solicita la carga sin poder regularla, por lo que el FDP del generador es igual al de la carga. Solo podemos actuar sobre el sistema excitatriz para regular la tensión y sobre el controlador de la fuente mecánica para regular la frecuencia.
- El comportamiento del generador auxiliar en paralelo con un bus infinito (caso B) es distinto y mucho más común pues aumenta la fiabilidad y rendimiento del sistema, la frecuencia y voltaje las impone el bus infinito siendo invariables. Por otro lado si es posible controlar es la potencia activa entregada por el generador variando el controlador de la fuente mecánica y la potencia reactiva modificando la corriente de excitación mediante el módulo AVR.



La simulación del módulo AVR y su comportamiento fue un tema delicado en la elaboración del proyecto, en el mismo se explica que solución se alcanzó tratando de modelizar la curva de corriente frente a cortocircuito trifásico en bornes del generador.

El generador escogido finalmente par nuestra planta fue el: STAMFORD HCI634Y. En el proyecto se incluye sus especificaciones técnicas y características más importantes, respecto al módulo AVR incluiría el generador el modelo: MX321 (Stamford model).

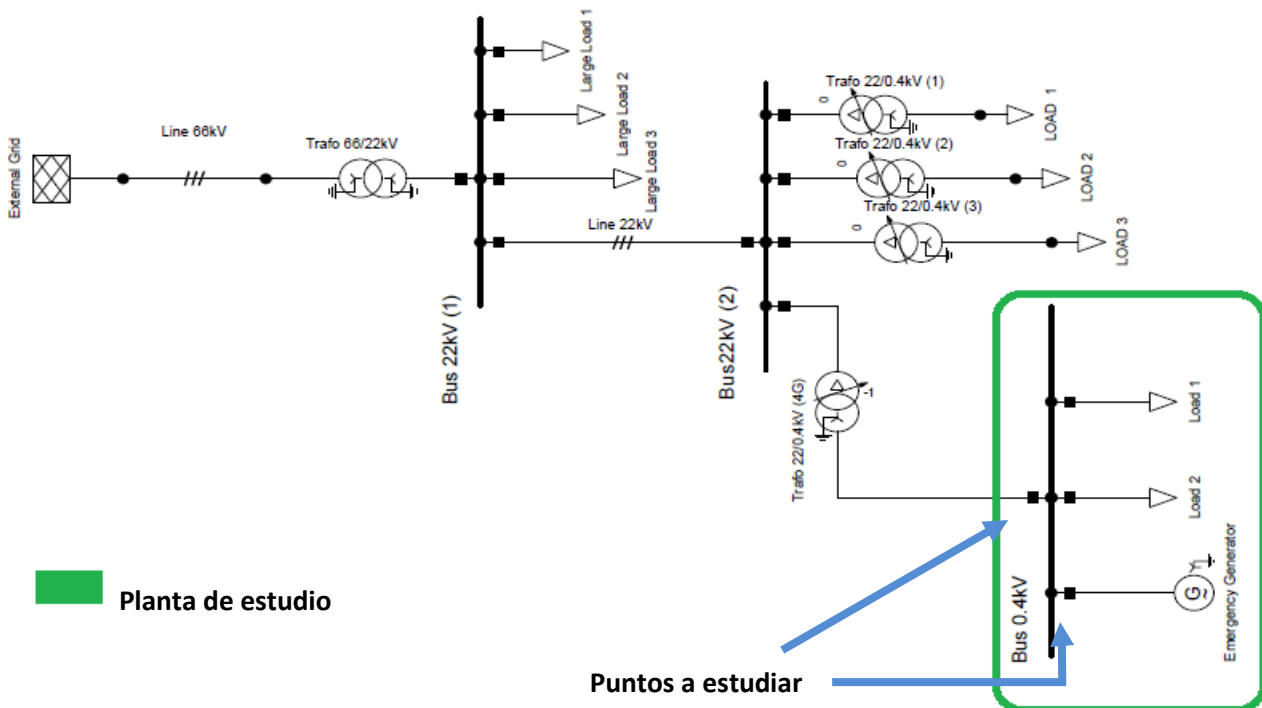
También se incluye y comenta datos sobre él.

4. CORTOCIRCUITOS

Existen distintos tipos de cortocircuitos, en nuestro estudio se simuló cortocircuitos trifásicos, bifásicos (fases a y b) y monofásicos a tierra (fase a) en todos los posibles puntos de la red eléctrica.

Se estudio la posibilidad de formación de arco con una resistencia de arco de $R_{arco} = 20 \text{ m}\Omega$, obviamente el caso más desfavorable es el caso ideal de cortocircuito franco, sin generarse arco alguno produciendo corrientes más elevadas.

Como puntos de estudio nos centramos en determinar las corrientes máximas en los lugares a colocar nuestras protecciones a diseñar:



5. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

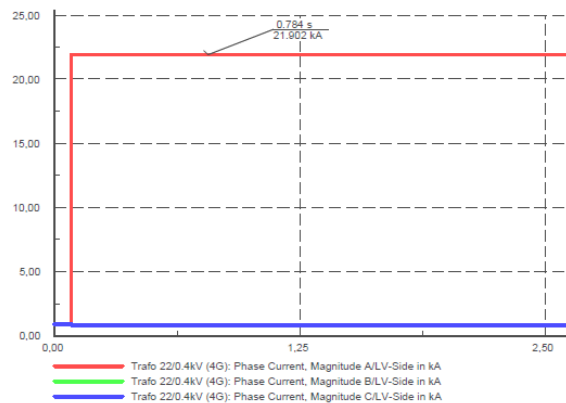
Como resumen de los datos extraídos de las múltiples simulaciones encontramos los siguientes valores máximos tanto de corriente nominal I_N en situación normal de funcionamiento como corriente máxima (subtransitoria) I_k'' en el cortocircuito más perjudicial para el punto de estudio:

1. Punto de estudio a colocar la protección de la planta industrial:

$$I_N = 0,895 \text{ [kA]} \text{ y } I_k'' = 21,902 \text{ [kA]}.$$

Esté valor máximo de corriente nominal aparece en el Caso C con el generador auxiliar desconectado, el flujo de potencia y corriente se aprecia en el apéndice [13].

La mayor corriente subtransitoria de cortocircuito aparece en la siguiente gráfica:



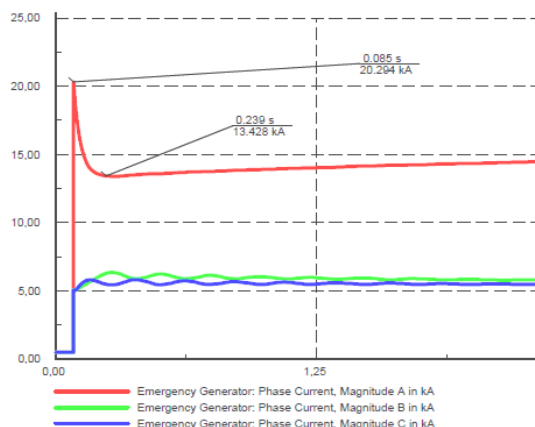
También aparece en el Caso C cuando se produce un cortocircuito monofásico a tierra en el bus de 0,4kV sin resistencia de cortocircuito.

2. Punto de estudio a colocar la protección de nuestro generador auxiliar:

$$I_N = 0,913 \text{ [kA]} \text{ y } I_k'' = 20,294 \text{ [kA]}.$$

El valor máximo de corriente nominal se da en el Caso A con el generador alimentando sólo las cargas imprescindibles y la red externa desconectada, el flujo de potencia y corriente se aprecia en el apéndice [8].

La mayor corriente subtransitoria de cortocircuito aparece en la siguiente gráfica:

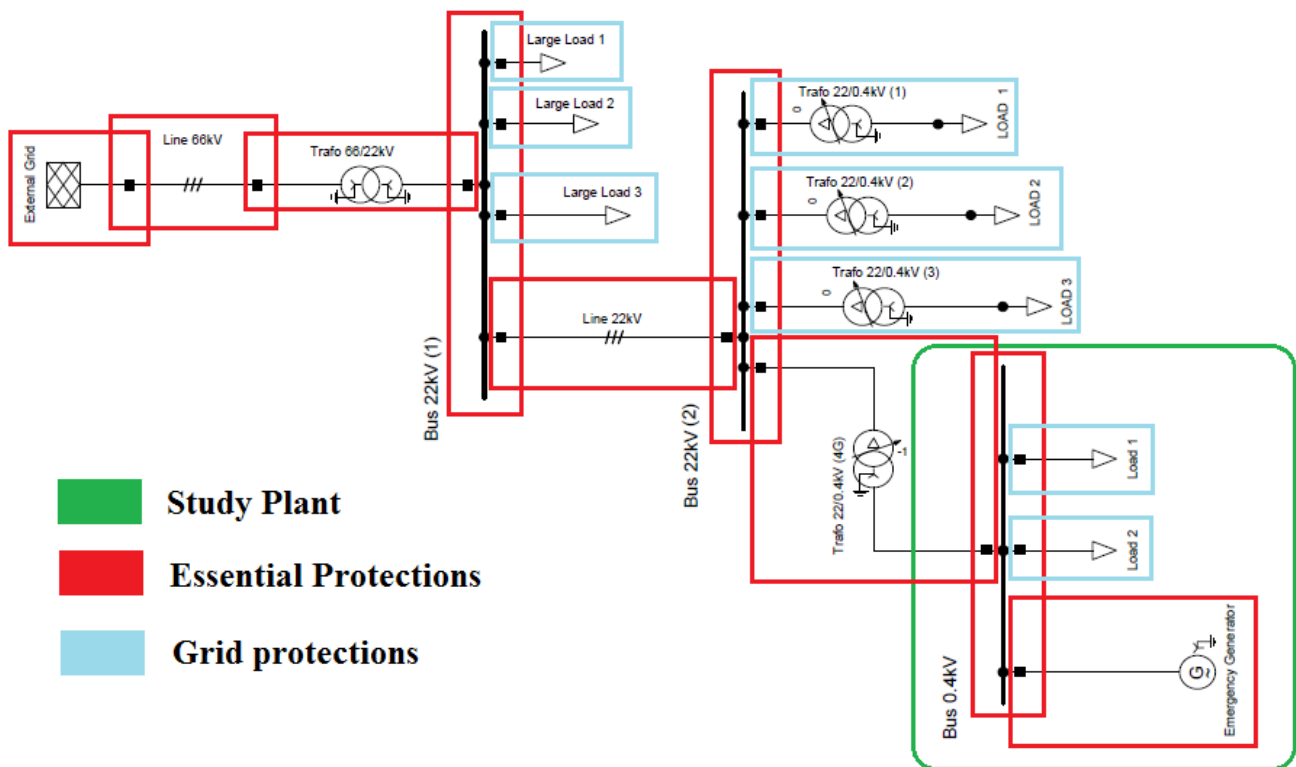


Aparece en el Caso B con el generador y la red externa actuando en paralelo y se produce un cortocircuito monofásico a tierra en el bus de 0,4kV sin resistencia de cortocircuito.

Será importante a la hora de seleccionar las protecciones realizar un estudio para coordinar las distintas protecciones para que actúen de forma eficiente minimizando el tiempo sin servicio frente a situaciones de cortocircuito en cualquier punto.

Resulta un problema complejo y se sale fuera del campo del proyecto pues al incluir dos puntos distintos de generación la complejidad aumenta, como primer paso será necesario dividir nuestro sistema eléctrico en zonas y coordinarlas correctamente entre ellas.

La siguiente figura muestra de forma aproximada las distintas zonas a coordinar, será necesario conocer los datos del resto de protecciones implicadas en el sistema para el funcionamiento óptimo del sistema de protecciones en todo el sistema.



En el proyecto se profundiza a nivel teórico y práctico a la hora de realizar las simulaciones y su análisis además se propone como actuar incluyendo futuros campos de investigación, discusiones y curiosidades que surgieron durante su elaboración.



6. REFERENCIAS

- Documentación NTNU del curso TET4115, Power System Analysis.
- Apuntes de varias asignaturas Uc3m de la especialidad de Electricidad:
 - Líneas y redes eléctricas.
 - Operación y control de sistemas eléctricos.
 - Regulación de sistemas eléctricos.
 - Análisis dinámico de máquinas eléctricas.
 - Máquinas eléctricas I y II.
- Erster Teil: SIEMENS handbook
- Jan Machowski: Power System Dynamics and Stability.
- A. E. Fitzgerald: Electric Machinery.
- Kundur: Power System Stability and Control.
- Stephen J. Chapman: Electric Machinery Fundamentals.
- Jesús Fraile Mora: Máquinas Eléctricas.
- Guía de usuario de Digsilent PowerFactory:
<http://www.scribd.com/doc/46062174/User%E2%80%99s-Manual-DigSilent-Version-14>
- Modelos para dependencia de cargas:
<http://webfiles.portal.chalmers.se/et/Lic/Linden%26SegeqvistLic.pdf>
- Diferentes documentos sobre protecciones:
<http://static.schneider-electric.us/docs/Circuit%20Protection/0600DB0301.pdf>
<http://referencias111.wikispaces.com/file/view/6PROTECCIONESCAPITULO3.pdf>
<http://ie.fing.edu.uy/ense/asign/iiee/Documentos/Teorico/Sobrecorrientes.pdf>
<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040007/lecciones/cap12-2.htm>
- Glover Dharma, Power system analysis and design, with personal computer applications.
- Network protection & Automation guide.

